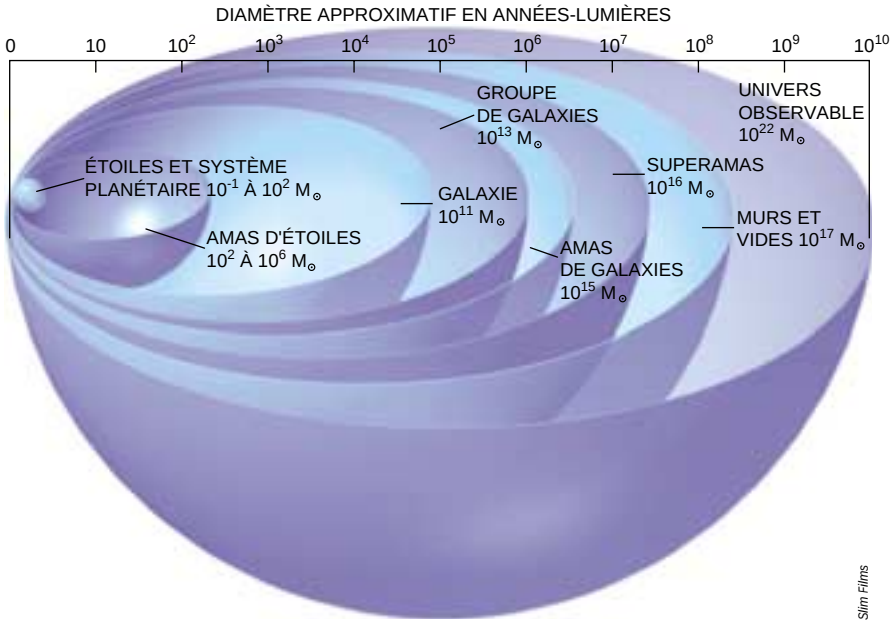
limite néanmoins cette croissance : les amas trop séparés ne fusionnent plus. Peut-être l'Univers approche-t-il cette limite.

À l'échelle de l'Univers, les amas cités jusqu'ici sont relativement proches. Les astronomes qui étudient l'évolution des amas à partir des quelques amas que nous observons sont comme des médecins qui exploreraient la croissance humaine à partir d'une seule photographie d'une foule. Avec un peu d'attention, on classe les personnes selon leur âge, et l'on déduit, qu'en général, les gens grandissent en vieillissant.

On pourrait aussi étudier la croissance humaine en examinant un ensemble de photographies, chacune ne contenant que des gens d'une classe d'âge, comme une photographie de classe d'école primaire, de lycée ou d'université. De même, les astronomes peuvent observer les amas à des distances de plus en plus grandes, qui correspondent à des époques de plus en plus reculées de l'histoire de l'Univers. Ainsi, on assemble des «photos de classe» d'amas dont les âges diffèrent. Grâce à cette approche, les astronomes travaillent sur un échantillon complet d'amas, plutôt que sur quelques amas individuels. En contrepartie, les amas jeunes étant très lointains (jusqu'à 20 fois plus que les amas précités), leur étude détaillée est hors de portée et l'on doit se contenter de leurs propriétés moyennes.

L'un de nous (P. Henry) a appliqué cette méthode aux observations du satellite X ASCA. Il a découvert que les amas lointains, plus jeunes, sont plus froids que les amas plus proches, plus vieux. Avec le temps, les amas s'échauffent et deviennent plus massifs, preuve supplémentaire de la pertinence du modèle de croissance à partir de petites structures. Forts de ces observations, les chercheurs ont estimé la vitesse moyenne d'évolution des amas dans l'Univers. À partir de cette mesure, liée à l'évolution globale de l'Univers et à la nature de la matière sombre, les astronomes déduisent que l'expansion initiale de l'Univers ne s'arrêtera jamais *(voir l'encadré de la page 48)*.

De nouvelles observations dans le domaine X identifieront peut-être le reste de la matière sombre dans les amas. D'ici la fin de l'an 2000, trois satellites X seront lancés : le satellite européen XMM (pour *X-ray Multi-mirror Mission*, soit «mission multi-miroir pour le rayonnement X»), le satellite américain AXAF (pour *Advanced X-Ray Astrophysics Facility*, soit «observatoire avancé pour l'astrophysique du rayonnement X») et le satellite japonais ASTRO-E.



6. LA HIÉRARCHIE DES STRUCTURES COSMIQUES s'étend des étoiles et des planètes à l'Univers tout entier. Les objets les plus grands qui sont maintenus par la gravitation sont les amas de galaxies, dont les masses atteignent 10^{15} fois la masse du Soleil (notée $M_\odot$). Il existe un niveau supérieur d'organisation, celui des superamas et des murailles (des murs de galaxies), mais ces structures ne sont pas liées par la gravitation. À des échelles plus grandes encore, l'Univers serait dépourvu de traits marqués. Les astronomes pensent que la plupart de ces structures se forment par agglomération progressive d'entités plus petites.

D'autres observations, notamment dans l'ultraviolet lointain, compléteront ces études. L'ultraviolet lointain est un rayonnement électromagnétique d'énergie légèrement inférieure à celle du rayonnement X. Comme il est fortement absorbé par les gaz et les poussières de notre Galaxie, les astronomes pensaient que la plupart des amas ne seraient pas visibles à ces longueurs d'onde. Récemment, Richard Lieu, de l'Université d'Alabama, à Huntsville, Stuart Bowyer, de l'Université de Berkeley, et leurs collègues ont étudié cinq amas au moyen du satellite EUVE (acronyme d'*Extreme Ultra Violet Explorer*, soit «explorateur dans l'ultraviolet lointain», lancé en 1992).

Ils ont découvert que ces amas brillent beaucoup dans l'ultraviolet lointain. Cette découverte était aussi inattendue que la première détection des amas dans le domaine X, au début des années 1970. Bien qu'une partie de ce rayonnement provienne du même gaz qui engendre les rayons X, certains amas semblent contenir une autre source de ces rayonnements. Cette découverte récente reste encore inexpliquée. S'agit-il d'une autre composante de la matière sombre? L'une des tâches des nouveaux satellites X sera l'identification de cette composante.

Les astronomes qui observent ces amas se sentent proches de Messier, qui s'efforçait d'apercevoir des taches lumineuses dans la constellation de la Vierge, sans connaître leur nature. Malgré les perfectionnements techniques, les amas restent bien mystérieux. Comme nous avons été aidés par nos prédécesseurs, nous plantons des jalons pour nos successeurs.

Patrick HENRY enseigne l'astronomie à l'Université d'Hawaii. Ulrich BRIEL et Hans BÖHRINGER travaillent à l'Institut Max Planck, à Garching (Allemagne).

Craig L. SARAZIN, *X-ray Emission from Clusters of Galaxies*, Cambridge University Press, 1988.

Clusters and Superclusters of Galaxies, sous la direction de A.C. Fabian, Kluwer Academic Publishers, 1992.

Florence DURRET, *Clusters of Galaxies*, Diderot Multimédia, 1994.

Jack O. BURNS, *Stormy Weather in Galaxy Clusters*, in *Science*, vol. 280, pp. 400-404, avril 1998.

Joshua N. WINN, *An X-rated View of the Sky*, in *Mercury*, vol. 27, n° 1, pp. 12-16, janvier / février 1998.

La lutte contre le

MARC GARNICK • WILLIAM FAIR

L'amélioration des diagnostics et des traitements augmente la durée et la qualité de la vie des hommes tteints d'un cancerde la prostate.

En France, le cancer de la prostate tue plus de 9 000 hommes chaque année ; c'est la seconde cause de mortalité par cancer (pour les hommes), après le cancer du poumon. On dépiste chaque année plus de 35 000 nouveaux cas pour notre pays. Plusieurs équipes continuent à chercher de nouvelles voies thérapeutiques contre cette maladie qui frappe surtout les hommes de plus de 65 ans. Nous ne prétendons pas disposer d'une solution idéale pour chaque malade, mais plusieurs découvertes récentes ont fait naître des espoirs.

Les cancérologues savent que les cancers de la prostate peuvent être guéris quand ils sont dépistés au stade microscopique. Pour dépister ces cancers à ce stade, on ne dispose que d'un seul test : la mesure de la concentration sanguine de l'antigène prostatique spécifique (PSA), une protéine libérée par les cellules de la prostate. Cette protéine est sécrétée par les cellules prostatiques, normales ou malignes, mais, en cas de prolifération tumorale, la concentration augmente. Des concentrations du PSA élevées indiquent qu'une tumeur prostatique existe, même si elle n'est pas décelable cliniquement. L'autre test de dépistage, le toucher rectal, ne révèle que des tumeurs palpables : pour pratiquer cet examen, le médecin insère l'index dans le rectum du patient et palpe la prostate à travers la paroi rectale, à la recherche de zones indurées ou de nodules.

Ce geste s'impose encore, car le dosage du PSA n'est pas spécifique : 25 pour cent des hommes ayant un cancer de la prostate ont une concentration du PSA normale (on admet généralement que la normale est inférieure ou égale à quatre nanogrammes par millilitre de sang). Inversement, plus de la moitié des hommes qui ont des concentrations du PSA supérieures à la normale n'ont pas de cancer.

Avant de poursuivre, nous devons reconnaître que le dosage du PSA pour le dépistage systématique du cancer de la prostate a été et reste controversé. Beaucoup de médecins, surtout en Europe, doutent de la nécessité du dépistage des cancers microscopiques, qui se développent quand une cellule prostatique normale échappe aux contrôles habituels de prolifération et de migration : ces tumeurs microscopiques ont souvent une croissance trop lente pour devenir symptomatiques et diminuer l'espérance de vie. Les médecins risquent de faire plus de mal que de bien en effectuant des dosages systématiques du PSA et des examens de surveillance (échographies ou biopsies) quand la concentration du PSA est élevée, et en exposant leurs patients aux effets secondaires néfastes des traitements.

Au contraire, comme d'autres médecins, nous pensons que le dosage du PSA révèle des tumeurs qui risquent vraiment de diminuer l'espérance de vie. Aujourd'hui, on ne sait pas distinguer les tumeurs microscopiques qui seront mortelles de celles qui ne le seront pas. Si l'on prive de traitement des hommes porteurs de telles tumeurs, on en condamne inévitablement certains.

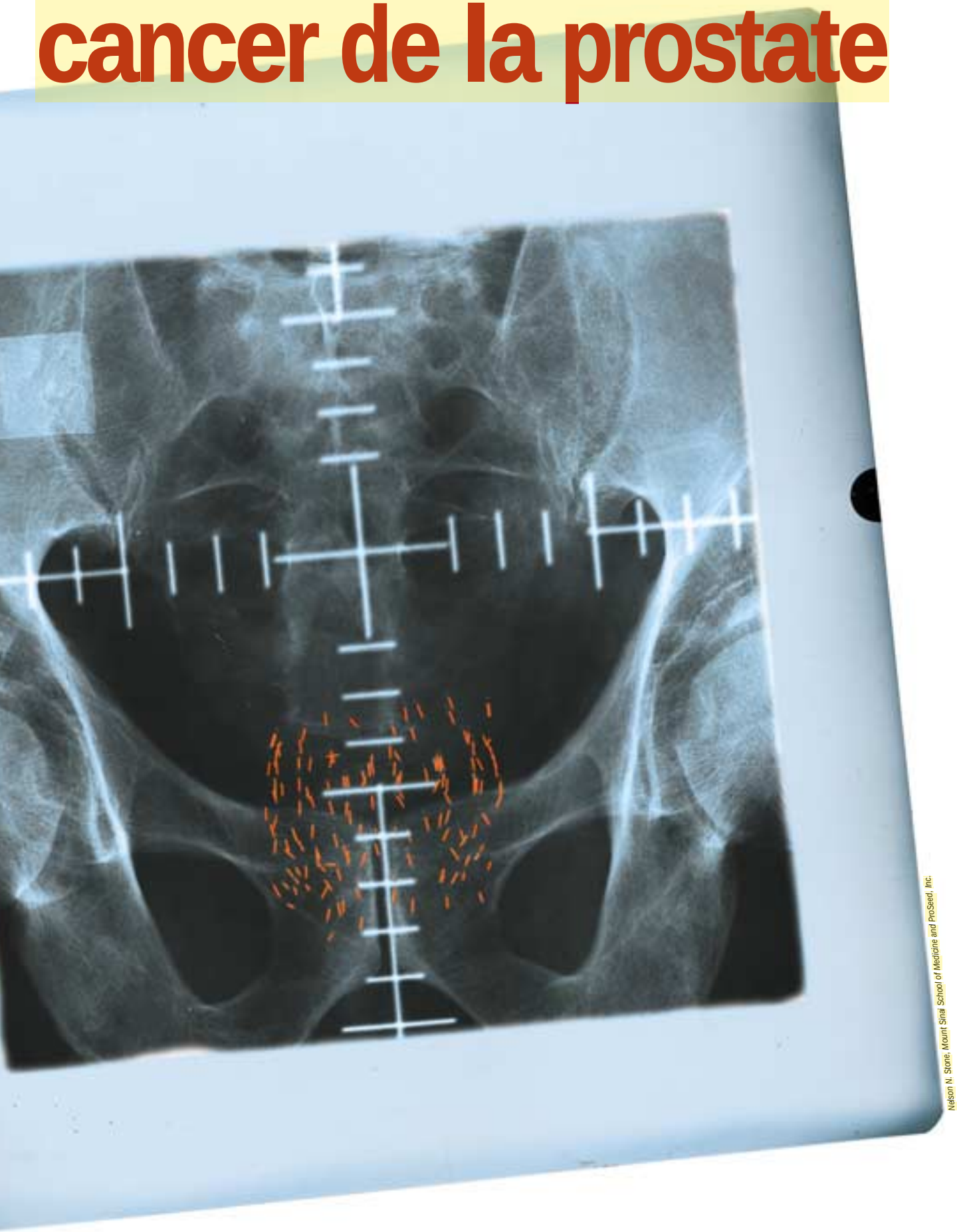
Améliorer le dépistage

L'absence de spécificité du dosage du PSA gêne même ceux qui le prônent. Pour mieux séparer les personnes qui ont un cancer et celles qui n'en ont pas, on utilise parfois des tables des concentrations du PSA, dont la limite supérieure augmente avec l'âge *(voir la figure 3)*. En effet, on sait que les hommes ont des concentrations du PSA qui augmentent avec l'âge, même en l'absence de tumeur. Le seuil de normalité devrait être abaissé pour les hommes de 40 à 60 ans, dont les tumeurs prostatiques sont plus agressives. Chez les hommes de plus de 60 ans, ces tables de variations avec l'âge devraient éviter des examens inutiles. Toutefois, certains médecins s'interrogent : l'augmentation des seuils en fonction de l'âge ne risque-t-elle pas d'entraîner un sous-dépistage des tumeurs chez les plus âgés?

Quand on dispose de deux ou de plusieurs dosages successifs du PSA pour une même personne, la modification du PSA, d'une année sur l'autre, nommée vélocité du PSA, aide au diagnostic, même si le PSA est dans les limites de la normale : quand l'augmentation dépasse 0,75 nanogramme

1. DES IMPLANTS RADIOACTIFS *(en rouge)* ont été introduits dans la prostate pour y détruire une tumeur. Cette méthode, nommée curiethérapie, donnait naguère des résultats décevants, car les grains radioactifs étaient souvent mal répartis : certaines zones de la tumeur n'étaient pas détruites. Aujourd'hui, des techniques de repérage et d'échographie assurent une répartition uniforme des grains et semblent donner de meilleurs résultats.

cancer de la prostate



Nelson N. Stone, Mount Sinai School of Medicine and ProSeed, Inc.

par millilitre de sang sur une année, une biopsie s'impose.

Lorsque le PSA se situe dans une zone d'incertitude, entre des valeurs tout à fait normales et des valeurs indiscutablement anormales (entre quatre et dix nanogrammes par millilitre), un autre examen est utile : on détermine par prélèvement sanguin les concentrations relatives en molécules de PSA libres (non fixées à d'autres protéines) et en molécules fixées de PSA. Les hommes qui ont un cancer de la prostate ont souvent un rapport entre le PSA libre et le PSA lié anormalement faible.

D'autres molécules présentes dans le sang sont également modifiées ou en concentrations différentes quand survient un cancer. Des biologistes cherchent aujourd'hui des tests de dépistage fondés sur ces «anomalies». Certains tests pourraient même identifier les hommes qui n'ont pas encore de cancer de la prostate, mais qui sont prédisposés à cette maladie. Ils bénéficieraient d'un suivi et de nouvelles mesures préventives en cours d'évaluation. Par exemple, des concentrations sanguines élevées en IGF-1 seraient peut-être un signe de la présence d'un cancer de la prostate ou d'une prédisposition. Les anatomopathologistes ont identifié un autre facteur de risque de cancer sur les prélèvements de tissu prostatique. Quand ils examinent au microscope des échantillons de tissu prélevé sur la prostate, ils savent diagnostiquer un cancer d'après l'aspect anormal des cellules cancéreuses agglutinées en amas.

Parfois, ils trouvent des cellules qui n'ont pas toutes les caractéristiques des cellules tumorales, et qui correspondent à des zones de dysplasie intraépithéliale. On ignore encore si une telle dysplasie précède un cancer de la prostate ou si elle l'accompagne, mais on sait que cette dysplasie indique qu'un cancer va se développer ou qu'il est déjà présent quelque part dans la prostate : un cancer se déclare, au cours des cinq ans qui suivent la biopsie, chez la moitié environ des hommes qui ont une dysplasie intraépithéliale.

Les généticiens aussi recherchent des facteurs de prédisposition au cancer de la prostate. Ils ont découvert que les frères et les fils des femmes qui ont un cancer du sein ou une mutation du gène *BRCA1* (un gène de prédisposition au cancer du sein) risquent, plus que les autres, d'avoir un cancer de la prostate. De plus, une forme anormale du gène *HPC1* semble contribuer au déclenchement de certains cancers de la prostate. Toutefois, on ne dispose pas encore de tests fiables de dépistage de la prédisposition génétique au cancer de la prostate.

Qui peut être guéri?

Lorsqu'un cancer de la prostate est diagnostiqué, les médecins décident du traitement en fonction de son stade, ou de son étendue. Naguère on évaluait difficilement la progression des cancers, mais de nouvelles méthodes ont été mises au point.

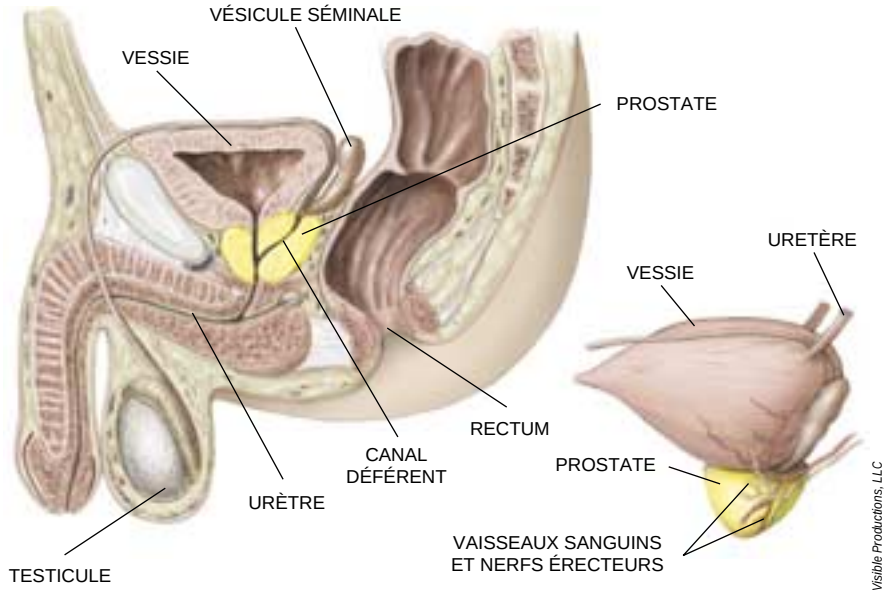
Parmi les systèmes disponibles pour évaluer le stade de la maladie, la classification internationale TNM est aujourd'hui la plus utilisée. La tumeur primaire est classée selon quatre stades, eux-mêmes subdivisés en sous-groupes. La désignation T1 indique une tumeur microscopique non palpable au toucher rectal ; T2, une tumeur palpable et confinée à la glande ; T3, une tumeur qui s'étend au-delà de la prostate (dans le tissu conjonctif environnant) ou qui a envahi les vésicules séminales adjacentes (les structures de stockage du sperme) ; T4, des tumeurs étendues aux organes de voisinage.

La classification précise aussi si le cancer a envahi les ganglions lymphatiques pelviens (N) ou s'il a métastasé (M). Les métastases sont des tumeurs issues de cellules cancéreuses qui se sont détachées de la tumeur initiale et qui ont été véhiculées par le sang ou par la lymphe vers des sites éloignés, où elles ont proliféré.

Les tumeurs de stade T1 ou de stade T2 sont généralement traitées par prostatectomie totale, c'est-à-dire par ablation de la prostate, car l'organe n'est pas vital. Elles sont parfois traitées par radiothérapie locale, ou par la combinaison d'un traitement hormonal et d'une radiothérapie, ou d'un traitement hormonal et d'une intervention chirurgicale.

L'hormonothérapie est fondée sur le fait que les androgènes (les hormones masculines, la testostérone et ses dérivés) stimulent la croissance des tumeurs prostatiques ; elle bloque la production de ces hormones par l'organisme ou leur action sur les cellules prostatiques. En l'absence de testostérone, les cellules malignes de la prostate meurent souvent. Un traitement hormonal est toujours palliatif, c'est-à-dire qu'il complète les autres traitements, mais qu'il ne peut, à lui seul, guérir des cancers qui ne sont plus microscopiques.

La prostate et les organes environnants



2. LA PROSTATE *(en jaune)*, qui assure la qualité des spermatozoïdes et intervient dans la production du sperme, est située sous la vessie. Quand une tumeur de la prostate se développe, elle touche souvent la vessie ou l'urètre, entraînant des troubles urinaires, notamment des mictions fréquentes et impérieuses. Les traitements du cancer de la prostate endommagent parfois les tissus adjacents et risquent de provoquer incontinence, inflammation rectale ou impuissance.